

秋田大学教育文化学部研究紀要  
自然科学第75集別刷 令和2年3月

## 北半球と南半球からの同時観察を可能とする「月観測カメラ」の 作製と同時観察の実施

上田 晴彦, 山本 裕樹, 成田 堅悦

(Memoirs of the Faculty of Education and Human Studies  
Akita University (Natural Science)  
75, 13 - 18 (2020))

## 北半球と南半球からの同時観察を可能とする「月観測カメラ」の 作製と同時観察の実施

上田 晴彦<sup>1</sup>, 山本 裕樹<sup>2</sup>, 成田 堅悦<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 秋田大学教育文化学部, <sup>2</sup> 東北公益文科大学公益学部

### 概要

現行の学習指導要領では、小学6年生および中学校3年生で月の満ち欠けの学習をすることとなっているが、内容が高度で指導するのが困難な単元と見なされている。そのため、これまで月の満ち欠けの理解を助けるモデルづくりに関する実践的研究が精力的になされてきたが、現実の夜空を利用した教育プログラムはあまりない。一方で緯度が大きく異なる2地点で月を観察した場合、月の満ち欠けの様子が大きく異なることは周知の事実である。この事実を踏まえ、本研究では、月の満ち欠けの学習を助ける新しい教育機器として「月観測カメラ」を開発した。そして実際に遠く離れた北半球および南半球に「月観測カメラ」を設置して月の満ち欠けを同時観察し、その様子の違いから月の満ち欠けの原理を理解することを助ける教育機器の働きを果たすことを示した。インターネット経由ではあるものの、「月観測カメラ」は同時に夜空で観察をおこなっている点で大いに特徴があるが、ここではその概要を報告する。

キーワード：天文教育, インターネット, 月

## Construction of "Moon observation cameras" that enable simultaneous observation from the northern and southern hemispheres and implementation of simultaneous observation

UEDA, Haruhiko<sup>1</sup>; YAMAMOTO, Yuki<sup>2</sup>; NARITA, Kenetsu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Education and Human Studies, Akita University

<sup>2</sup>Faculty of Humanities and Social Sciences, Tohoku University of Community Service and Science

### Abstract

Under the current course of study, the sixth grade of elementary school and the third grade of junior high school are designed to learn the phases of the moon, and this content is considered to be so advanced and difficult to teach. For this reason, practical researches on the creation of educational models that help to understand the phases of the moon have been made vigorously, but there are not many educational programs those are based on the observations in the night sky. On the other hand, it is a well-known that the phases of the moon are greatly different if we observe the moon at two points with very different latitudes. Based on this fact, we develop the "Moon observation camera" as a new educational device that helps to study the phases of the moon. We then install the "Moon observation cameras" in the northern and southern hemispheres, and observe the phases of the moon at the same time. Although using the Internet, the "Moon observation cameras" have a great feature that it is based on simultaneous observation in the night sky, and we here report the summary of this.

**Keywords** : Astronomical Education, Internet, moon

## 1. はじめに

平成20年度に改訂された学習指導要領により、小学校6年次と中学校3年次において月の満ち欠けが扱われることになった。平成30年から実施されている現行の学習指導要領においても、引き続き月の満ち欠けが扱われている。学習指導要領解説理科編を見ると、小学校では「月の形の見え方について、月と太陽の位置に着目して、それらの位置関係を多面的に調べる活動を通して、次の事項を身に付けることができるよう指導する。」(小学校:p92)となっている<sup>1)</sup>。具体的には「月の輝いている側に太陽があること。また、月の形の見え方は、太陽と月との位置関係によって変わること。」および「月の形の見え方について追究する中で、月の位置や形と太陽の位置との関係について、より妥当な考えをつくりだし、表現すること。」となっている。いずれにしても月・太陽・地球の位置関係と月の見え方の関連性を扱う高度な内容を教授する必要がある、指導が大変難しい単元であることは間違いない。また中学校では「月の観察を行い、その観察記録や資料に基づいて、月の公転と見え方を関連付けて理解すること。」(中学校:p106)となっており<sup>2)</sup>、具体的には「[月の公転と見え方]については、月の運動と満ち欠けを扱うこと。その際、日食や月食にも触れること。」ということが明記されている。このことから、小学校での学習内容以上に空間認識能力を深めたものとなっており、取り扱う内容がかなり高度であるため、指導には相当な困難を伴うであろうことは容易に想像できる。

小学校・中学校での理科学習の基本となるのは、実験や観察である。天文単元においてもこのことはそのまま当てはまるため、実際に月を観察することによって月の満ち欠けの理解を深めることが望ましいことは言うまでもない。しかし現実問題として、夜間に児童・生徒を学校に集めるのは困難なこと、また仮にそのようなことができたとしても、単に月を観察しただけでは月の満ち欠けの理解につながらないことは明らかであろう。このような状況であることから、月の満ち欠けの学習においては教具・機器に頼った授業展開にならざるを得ない。ところが月の満ち欠けのような高度な内容を、従来型の教具・機器を利用して行うのは限度があると考えられる。もちろん月の満ち欠けの学習を助けるための教材等は多数開発されており一定の成果を上げているが、その性格からモデル化したものが多く<sup>3) 4)</sup>、現実の月と結びつくものは少ない<sup>5)</sup>。そのため月の満ち欠けに関する新しい教育機器を開発し、さらにこれらの単元の指導を興味深くおこなえる教育プログラムを作成し、児童・生徒たちの科学的理解力および空間認識能力を深める実践的活動をおこなうことは重要であろう。

本研究では北半球・南半球から同時に月の形や月・星の日周運動を観察する、新しい教育システムの開発について報告する。なぜ遠く離れた2地点から月を観察することが空間認識能力につながるかという点、観察する場所によって月の満ち欠けの様子が大きく異なるからである。たとえば月は図1のように右から満ち欠けすることが教科書や参考書に掲載されているが、これは北半球から月の満ち欠けを観察した場合であることは、注意すべきである。もちろん距離が大きく離れていても、それらの緯度が同じであれば、月の満ち欠けの様子は(時差や気象条件の影響を除くと)ほぼ同じである。

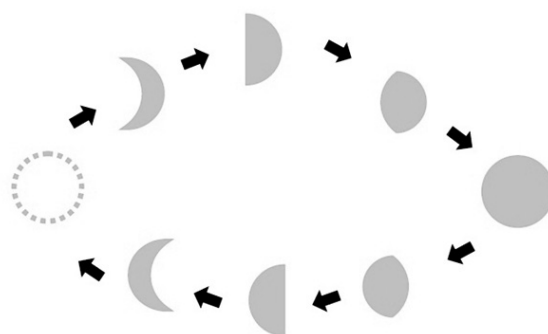


図1 北半球から見た月の満ち欠け

一方で緯度が大きく異なる2地点で月を観察した場合は、どうであろうか。たとえば南半球において月の満ち欠けを観察した場合、月は図2のように左から満ち欠けするが、その理由は以下のとおりである。地球の北半球に立っている観察者から見た場合、南半球に立っている観察者は上下がさかさまになった状態にあることはすぐにわかるであろう。そのため、月は北半球で観察した場合を180度さかさまになった状態で観察することになり、結果として図2のようになるのである。

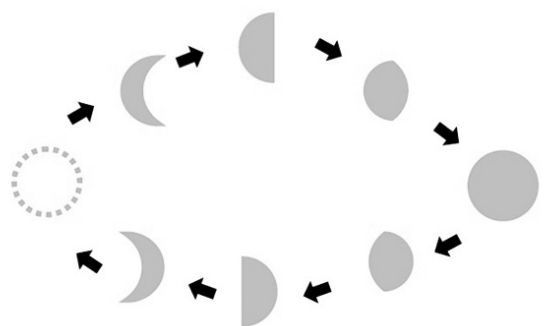


図2 南半球から見た月の満ち欠け

さらに北半球と南半球での夜間観察では、方向感覚も大いに異なったものとなる。北半球では北の空の星は天の北極を中心に反時計回りに回転するが、南半球では南

の空の星は天の南極を中心に時計回りに回転する。同じく月の観察においても、北半球での観察に慣れた我々にとっては、南半球での観察は戸惑いを覚える。北半球で月を観察する際は南の方角を向くのが普通であるが、この場合は東の方角（つまり左側）から月が昇り、目の前で南中したのち、西の方角（つまり右側）へ沈む。しかし南半球で月を観察する際は北の方角を向くのが普通であり、この場合東の方角（つまり右側）から月が昇り、目の前で南中したのち、西の方角（つまり左側）へ沈む。このことからわかるように、両半球での月の観察は大いに異なったものとなる。そのため両半球で月を同時観察することによって、地上にいる観察者・月・太陽の空間関係を効果的に理解させることが可能であるように思われる。これを実現するために、まずインターネット経由で遠隔操作可能な月観察のための装置「月観測カメラ」を作成し、それを国内（北半球）・海外（南半球）にそれぞれ設置し、同時観察できる状況を作り出すことを試みた。また実際に同時観察をおこない、その効果を確認することにした。

## 2. 月観測カメラの開発

我々はこれまで、インターネット経由で遠隔操作し、星空観察を可能とする「星空カメラ」の開発をおこなってきた<sup>6)</sup>。今回はこの「星空カメラ」をベースにし、月の観察に特化した「月観測カメラ」を作製した。特に今回は「星空カメラ」で欠点とされた耐久性の問題を解決するため、本体をステンレス製の特注製品とした。さらに近年の技術的發展に伴い、星空カメラで利用した機器及びソフトウェアを更新した。両者の主な概要は以下の表1の通りである。

表1 それぞれのカメラの主な概要

	星座カメラ (2000~2016)	月観測カメラ (2017~)
制御器	Arduino Duemilanove328 + Ethernetシールド	Raspberry Pi 2 Model B (SDカード:32MB)
カメラ	Watec WAT-902H2 ULTIMATE (CCD:1/2") (最低感度:0.0001 lx)	Watec WAT-250D2 (CCD:1/3") (最低感度:0.02 lx)
レンズ	PENTAX C815B (f:8.5mm) (画角:42°×31°) Tamron 12VG412ASIR (f:4~12mm)	CBC M3514-MP (f:35mm) (画角:7°×5°)
RC モーター-1 (回転角:180°)	GWS サーボ S03T/2BBMG (制御角度:10°→1°)	GWS サーボ S03T/2BBMG (制御角度:1°)

RC モーター-2 (回転角:360°)	GWS サーボ S125-1T/2BB (制御角度:10°→1°)	GWS サーボ S125-1T/2BB (制御角度:1°)
制御プログラム	PHP (外部サーバ)	Python3
画像配信	ネットワークカメラサーバー Panasonic BB-HCS301	MJPEG-Streamerによるストリーミング配信

表1からわかるように改良は多義にわたるが、まずは制御器について、簡単に説明する。前回の星空カメラにおいては、自作した経緯台を制御するために、Arduino(アルドゥイーノ)を採用した。ArduinoにはRCサーボモータを駆動するServoライブラリと呼ばれるものが標準で組み込まれており、簡単なコマンド(関数呼び出し)で指定の角度を保持できるという長所があった。しかし今回は、制御器としてRaspberry Pi(ラズベリーパイ)を採用したが、その理由は以下の通りである。

ArduinoおよびRaspberry Piとも、電気機器を制御するための小さなコンピュータ、つまりマイクロコンピュータ(マイコン)である。ただしArduinoにはOSが搭載されておらず、そのためドアの開閉のような簡単な繰り返し動作をおこなう際に適している。一方でRaspberry PiにはOSが搭載されており、複雑なプログラミングや複数の処理を同時におこなう等に向いている。今回は周辺機器とより相性の良いRaspberry Piを利用したが、そのためより複雑な動きも可能となった。

また暗い星を観察する「星空カメラ」と明るい月を観察する「月観測カメラ」の大きな違いとして、カメラとレンズがある。表1からわかるようにカメラの感度を全く違うものとしたうえ、レンズの画角も大きく変えた。これにより、月観察に特化した装置となるようにした。なお今回の改良に伴い、経緯台の制御Webページも改良したが、その概要についても一言述べておく。先に述べたように「月観測カメラ」ではRaspberry Piで制御をおこなうように変更したことにより、制御WebページにおいてはHTML5から追加になったフォームのtype="number"を用いることとなった。そのためオプションで最大値・最小値を指定でき、その範囲内の数値を扱うことができる仕様に変更した。さらにアップ・ダウンボタンが付くためマウスで数値を上下することもできるようになった。なおHTML5に対応していないブラウザでは、数値入力ウインドウの扱いとなり直接数値を入力することになる。もちろんHTML5のブラウザでも直接数値を入力することは可能である。プログラム側で入力数値の上下限をチェックしており、範囲外の数値を入力しても最大・最小値を超えることはない。新しい

制御 Web ページについては、次の図3を見てほしい。

Elevation: 0 degree, Azimuth: 180 degree  
 Elevation 0 degree  
 Azimuth 180 degree  
 Move  
 (360)000:North  
 270:West 090:East  
 180:South

図3 新しい Web ページ

このような改良を経て実際に作製された「月観測カメラ」の全体像を図4に示す。一見してわかるように、ステンレス製の筐体を持ち、塩化ビニール製の筐体を持つ「星空カメラ」に対して<sup>6)</sup>、耐久性が大いに高められていることがわかる。念のために秋田大学教育文化学部4号館の屋上に、実際に半年程度連続して設置したが、筐体そのものは劣化等の問題が全くないことを確認した。また雨水等の侵入もなく、内部の機器が完全に守られている仕様となっていることも確認できた。



図4 秋田大学屋上の「月観測カメラ」  
 (緯度: 39.727894 経度: 140.133695)

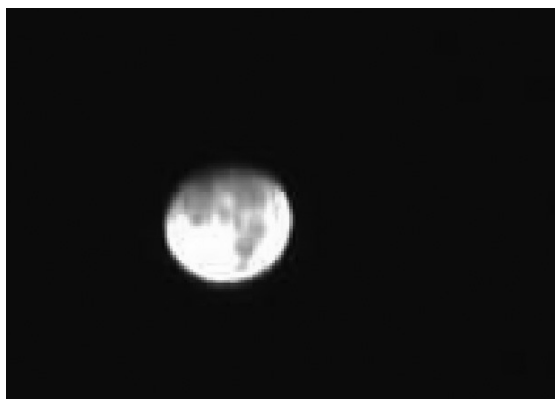


図5 「月観測カメラ」で撮影された月の様子(秋田)

最後に「月観測カメラ」で撮影した実際の月の映像が図5である。「月観測カメラ」で撮影された月は、満ち欠けの様子がはっきりとわかるが、特に欠けている方向がわかることに注意してほしい。いずれにしても我々の開発した「月観測カメラ」は、月の満ち欠けを観察する教育機器として問題ないことがわかる。

### 3. 月観測カメラの海外設置

月観測カメラの開発に成功したため、次はこの教育機器を使って、異なる2地点から月を観察するシステムを作ることが目標となる。まずは最初の地点(北半球)として秋田大学教育文化学部4号棟の屋上を選んだ。秋田市内にあり光害の影響は一定程度あるが、月の運動や満ち欠けの観察なので、図5でみたとおり市街地の明かりもほとんど問題とならない。



図6 アリッツホテル屋上の「月観測カメラ」  
 (緯度: -8.673649 経度: 115.262513)

もう一方の地点としては、月の満ち欠けが異なって見えるほど、大きく緯度の離れた場所(南半球)でなければならない。しかも同時観察できるためには、経度差は小さくなければならない。このような場所は限られており、具体的にはインドネシア、オーストラリア、ニュージーランド等が候補地となる。設置およびメンテナンスのしやすさを考慮に入れ、今回はその中でも日本と最も近いインドネシアに「月観測カメラ」を設置することとした。残念ながらジャカルタ等のインドネシアの大都市は近年大気汚染がひどく、昼間の太陽ですら直接目で見てもまぶしくないほどである。当然月の満ち欠けの観察には適さず、そのため候補から外した。最終的に日本から最も近く時差も1時間であるバリ島のアリッツホテル屋上に、設置することとした。設置された「月観測カメラ」の様子については、図6を見てほしい。またアリッツホテル屋上から「月観測カメラ」を使って見た昼間の映像についても、図7にあげておく。

なお、インターネットからアリッツホテル屋上の内部ネットワークへは直接アクセスできず、月観測カメラの



図7 アリッツホテル屋上の月観測カメラから見た昼間の風景

固定 IP アドレスは設定できないとのことであった。そこで、アリッツホテル屋上にルータを設置し、そのルータから日本の Web サーバに VPN 接続することで日本の Web サーバ経由で月観測カメラにアクセスできるようにした。ルータには Ubiquiti EdgeRouter X を採用し、OpenVPN で VPN 接続している。その概略は、図 8 に示したとおりである。

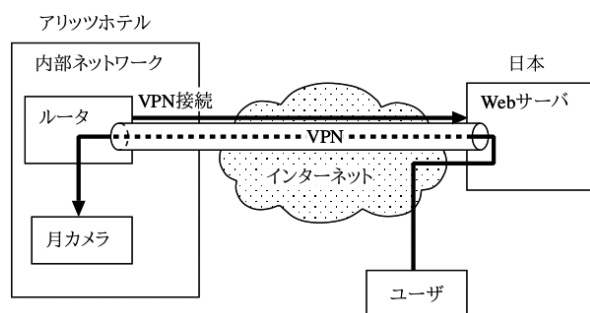


図8 アリッツホテルとの通信の概略図

#### 4. 同時観測の実施

北半球および南半球にそれぞれ月観測カメラが設置できたので、早速同時観測を実施した。これまで何度か同時観測を実施してきたが、ここでは 2019 年 10 月 9 日に行った観測事例を紹介する。当日は秋田市及びバリ島とも晴れており、月の観測にはよい条件となった。秋田市

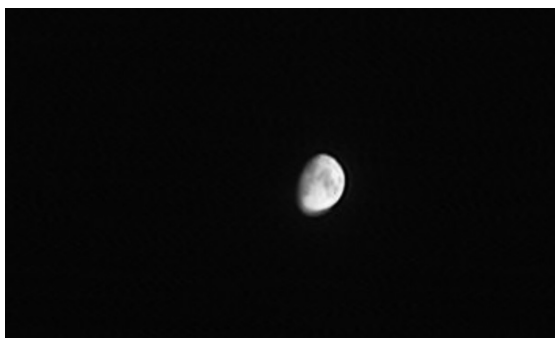


図9 秋田大学屋上に設置された「月観測カメラ」から見た月の満ち欠けの様子

では 18 時頃には空が暗くなり、南東の方角を見ると月がはっきりと見えていた。ただし秋田とインドネシアとでは若干の経度差があるため、秋田で太陽が沈んで暗くなっても、バリ島はまだ明るいままである。19 時 30 分（日本時間）を過ぎるとバリ島でも暗くなり、月の満ち欠けの観察に適した暗さとなった。図 9 に、19 時 50 分（日本時間）に秋田大学屋上に設置された「月観測カメラ」から見た月の満ち欠けの様子を示す。ちなみにこの時の月齢は 10.7 日であり、月の位置は南南東の方角（方位角 168 度程度）で高度 33 度程度であった。

また同時刻にバリ島のアリッツホテル屋上に設置された「月観測カメラ」から見た月の満ち欠けの様子を、図 10 に示す。両者を見比べると、月の欠けている方向が異なっていることがわかるであろう。なお、この時のバリ島での月の位置は東南東の方角（方位角 105 度程度）で高度 54 度程度であった。



図10 アリッツホテル屋上に設置された「月観測カメラ」から見た月の満ち欠けの様子

#### 5. まとめと今後の課題

本研究の目標は、指導をおこなうことが大変難しいとされている小・中学校における月の満ち欠けの学習を助ける新しい教育機器の開発であった。このようなものとして、我々は「月観測カメラ」を提案し、これを利用して実際に遠く離れた北半球および南半球から月の満ち欠けを同時観測した。これにより、緯度の大きく異なる 2 地点の月の満ち欠けの様子が異なることが「月観測カメラ」によって判別できることを実際に確かめた。

先に述べたが月の満ち欠けについては、その理解を助けるモデルづくりに関する実践的研究は多数ある。しかし現実の夜空を利用した教育プログラムは、現時点ではあまりみあたらない。本研究ではインターネット経由ではあるが、実際の夜空での月観測をおこなうことを基礎としている点で、大いに特徴があると思われる。特にインターネットでの月観測の長所を生かし、北半球と南半球で同時観測ができる仕組みを整えたことには、一定の意義があると考えられる。

最後に、今後の課題について述べる。今回開発した月

観察システムを用いて、北半球・南半球からの同時観察を利用した教育プログラムの開発をおこなう必要がある。特に小学校および中学校の学習指導要領にそったプログラムを作成し、教育現場で利用可能なものでなければならない。さらに、この教育プログラムに沿った授業実践を実際の小・中学校（可能なら海外も含む）でおこなうことも必要であろう。また教員養成課程に学ぶ大学生に対しても利用し、その効果のほどを確かめたいと考えている<sup>7) 8)</sup>。いずれにしても、本研究で開発した「月観測カメラ」が教育機器として大いに活用されるよう、今後とも改良を続けていきたい。

### 謝辞

本研究は、日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 課題番号：15K00909 研究期間：2015-2018FY「北半球および南半球からの同時観察を利用した小・中学校の学習プログラム作成」の助成を受けたものです。

インドネシア共和国バリ州サヌール「アリッツホテル」の屋上に「月観測カメラ機器一式」の設置を快諾していただきました Masami K.CIPTA 氏、ネットワーク、機器のメンテナンスをしていただいている藤原三郎氏、また、現地観測にあたり資料・情報について多大にご協力を得たインドネシア国立ウダヤナ大学 Prof.Dr. I Gede Putu Wirawan 及び研究室の方々、現地観測用の設置及び準備コーディネーター秋田大学教育文化学部高樋さち子准教授に深く謝意の意を表したい。

### 参考文献

- 1) 小学校学習指導要領解説理科編（文部科学省）[http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387017\\_005\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387017_005_1.pdf)
- 2) 中学校学習指導要領解説理科編（文部科学省）[http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387018\\_005.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387018_005.pdf)
- 3) 小松祐貴・渡邊悠也・中野博幸・鬼木哲人・久保田善彦（2013）：月の満ち欠けの理解を促す AR 教材の開発と評価，科学教育研究，37 巻 4 号，307-316.
- 4) 相場博明（2016）：地動説による「月の満ち欠け」指導の問題点と「地動説版月の満ち欠け説明器」の開発，理科教育学研究，57 巻 2 号，95-102
- 5) 栗原淳一・岡崎彰・二宮一浩（2012）：観察記録との関連付けを図った「月の満ち欠け」モデル実験用教材の開発と評価，理科教育学研究，53 巻 2 号，251-261.
- 6) 成田堅悦・上田晴彦（2013）：光害啓発活動のための「星空カメラ」の作製，秋田大学教育文化学部研究紀要 自然科学，68 巻，17-22.
- 7) 柚木朋也（2014）：「月の満ち欠け」に関する教員養成課程の大学生の概念，北海道教育大学紀要，64 巻 2 号，151-162.
- 8) 長沼侑生・川村教一（2017）：教員養成課程大学生が持つ月の位相の認識，秋田大学教育文化学部教育実践研究紀要，39 巻，81-91.